



3

REC'D 11 AUG 1997

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION
PRIORITY DOCUMENT

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris le 15 JUIL. 1997

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef de Division

Yves CAMPENON

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis rue de Saint Petersburg
75800 PARIS Cedex 06
Téléphone 01 53 04 53 04
Télécopie 01 42 93 59 30

This Page Blank (uspto)

RECEIVED
JAN 14 1964



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : (1) 42.94.52.52 Télécopie : (1) 42.93.59.30

BREVET D'INVENTION, CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle-Livre VI



N° 55-1328

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à rembourner à l'encre noire en lettres capitales

Réserve à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES **09. JUIL 1996**
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL **96 08542 -**
DÉPARTEMENT DE DÉPÔT **75**
DATE DE DÉPÔT **09 JUIL 1996**

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

BUREAU D.A. CASALONGA-JOSSE
8, avenue Percier
75008 PARIS

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention ☐ demande divisionnaire

☐ certificat d'utilité ☐ transformation d'une demande de brevet européen

☐ demande initiale

☐ brevet d'invention

n° du pouvoir permanent références du correspondant téléphone
B 96/0522 FR FZ

Établissement du rapport de recherche

☐ différé ☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance ☐ oui ☐ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

"Procédé de localisation d'un élément d'intérêt contenu dans un objet tridimensionnel, en particulier lors d'un examen de stéréotaxie en mammographie".

3 DEMANDEUR (S) n° SIREN code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

GE MEDICAL SYSTEMS S.A.

Forme juridique

Société Anonyme

Nationalité (s) Française

Adresse (s) complète (s)

Pays

26, rue de la Minière - 78533 BUC CEDEX

FRANCE

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs ☐ oui ☒ non Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES ☐ requise pour la 1ère fois ☐ requise antérieurement au dépôt : joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire - n° d'inscription)

CASALONGA
(bm 92-10441)

Conseil en Propriété Industrielle

SIGNATURE DU PREPOSÉ A LA RECEPTION SIGNATURE APRES ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE A L'INPI

1232



B 96/0522 FR

BREVET D'INVENTION, CERTIFICAT D'UTILITE

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

DIVISION ADMINISTRATIVE DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Pétersbourg
75800 Paris Cédex 08

Tél. : (1) 42 94 52 52 - Télécopie : (1) 42 93 59 30

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

96 08542

TITRE DE L'INVENTION :

Procédé de localisation d'un élément d'intérêt contenu dans un objet tridimensionnel, en particulier lors d'un examen de stéréotaxie en mammographie.

LE (S) SOUSSIGNÉ (S)

Société Anonyme dite : GE MEDICAL SYSTEMS S.A.

DÉSIGNE (NT) EN TANT QU'INVENTEUR (S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

- 1) Serge Muller
8, rue Saint Pol Roux - 78280 Guyancourt
- 2) Michel Grimaud
18, rue Martin Bernard - 75013 Paris
- 3) Robert Heidsieck
14, rue des Erables - 78150 Rocquencourt
- 4) Thierry Salmon Legagneur
7, rue St Hyacinthe - 75001 Paris
- 5) Sylvie Bothorel
29, rue de l'Est - 92100 Boulogne Billancourt

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire
Paris, le 9 Juillet 1996

BUREAU D.A. CASALONGA-JOSSE
8, avenue Percier
75008 PARIS

A. CASALONGA
(bm 92-1044i)

Conseil en Propriété Industrielle

Procédé de localisation d'un élément d'intérêt contenu dans un objet tridimensionnel, en particulier lors d'un examen de stéréotaxie en mammographie.

L'invention concerne la localisation d'un élément d'intérêt contenu dans un objet tridimensionnel à partir des positions de régions d'intérêt homologues correspondant audit élément d'intérêt et apparaissant dans un ensemble d'images stéréotaxiques dudit objet.

5 Bien que l'invention s'applique à tout ensemble d'images stéréotaxiques d'un objet tridimensionnel quelconque, elle est particulièrement utile dans le domaine médical et notamment lors d'un examen de stéréotaxie en mammographie pour la localisation de microcalcifications dans un sein.

10 Un examen de stéréotaxie en général permet d'accéder avec une grande précision, de l'ordre du millimètre, à un point donné d'un objet tridimensionnel, à partir de deux projections bidimensionnelles de cet objet acquises par exemple selon deux incidences angulaires opposées de part et d'autre de la normale au plan du récepteur d'images délivrant
15 lesdites projections.

A partir de la connaissance, d'une part, de la position de la projection de ce point dans le plan de chaque image stéréotaxique obtenue, et, d'autre part, de la géométrie de l'appareil de prises de vues stéréotaxiques ayant conduit à la construction des deux images, il
20 est possible de calculer la position exacte spatiale de ce point dans l'objet tridimensionnel, par calcul trigonométrique.

En résumé, un examen stéréotaxique nécessite :

de faire au moins deux images de l'objet à différentes angulations,
de connaître parfaitement la géométrie d'acquisition du système
25 stéréotaxique, et

de pouvoir localiser sur les différentes images stéréotaxiques obtenues, le lieu de la projection de l'élément d'intérêt choisi.

Les deux premiers points ne posent pas de problème majeur.

30 Actuellement, en mammographie, l'examen de stéréotaxie est effectué à l'aide d'un mammographe équipé d'un dispositif de prises de vues stéréotaxiques. Le mammographe comprend un tube à rayons X,

situé à l'extrémité d'un premier bras qui est mobile autour d'un axe et émettant un rayonnement X vers un récepteur situé à l'extrémité d'un autre bras. Entre le tube et le récepteur sont disposés, d'une part, un plateau porte-sein, ou support patient, et, d'autre part, un plateau de compression assurant le maintien en place du sein lors des mammographies. Le récepteur d'images peut être un récepteur numérique, tel qu'une caméra CCD par exemple, délivrant des images stéréotaxiques numérisées. Les prises de vues stéréotaxiques nécessitent la rotation du tube à rayons X autour des plateaux porte-sein et de compression, selon deux orientations successives opposées de part et d'autre de sa position initiale perpendiculaire au plan du récepteur d'images.

A partir des images stéréotaxiques numérisées obtenues, la localisation de l'élément d'intérêt sur les différentes images est une opération délicate, en particulier en mammographie, puisqu'elle fait appel à une mise en correspondance, ou appariement ("matching" en langue anglaise) de régions d'intérêt homologues correspondant, dans deux images stéréotaxiques différentes, à un même élément d'intérêt situé dans le sein.

Ainsi, en mammographie, on cherche à apparier sur les différentes images stéréotaxiques obtenues, les régions d'intérêt qui correspondent à une même microcalcification.

Or, l'appariement des microcalcifications projetées est un problème difficile car les microcalcifications ne se ressemblent pas d'une image à l'autre. Leur forme et leur contraste peuvent changer ainsi que leur agencement dans l'espace. Elles peuvent se superposer avec des zones fibreuses ou avec d'autres microcalcifications.

Jusqu'à présent, l'appariement était effectué entièrement manuellement par le radiologue. Ce dernier choisissait quelles étaient les régions d'intérêt en correspondance sur les deux images stéréotaxiques angulées, puis rentrait les coordonnées bidimensionnelles de ces régions dans un calculateur qui donnait la position spatiale de la microcalcification, c'est-à-dire les coordonnées tridimensionnelles de cette dernière. A partir de ces coordonnées, le radiologue pouvait ajuster par exemple la position d'un porte-aiguille

de façon à ce que l'aiguille vienne à l'aplomb de la microcalcification pour permettre sa ponction par exemple.

Or, cet appariement entièrement manuel s'avère être une étape longue et parfois imprécise.

5 L'invention vise à apporter une solution à ce problème.

L'invention a pour but de réduire sensiblement la durée d'un examen stéréotaxique et d'obtenir une meilleure précision d'appariement.

10 D'une façon très générale, selon l'invention, on définit une mesure de similarité permettant d'évaluer la ressemblance entre une région d'intérêt (microcalcification par exemple) sélectionnée (manuellement par le radiologue par exemple, ou bien automatiquement par un procédé de sélection automatique) sur une des images stéréotaxiques angulées et une région d'intérêt d'une deuxième image stéréotaxique.

15 A partir de cette mesure de similarité, on sélectionne, pour obtenir la région d'intérêt homologue, un certain nombre de "candidats" appartenant à une zone de recherche et ayant une forte ressemblance avec la microcalcification de départ.

20 Ensuite, en utilisant les principes de la stéréotaxie, on calcule les coordonnées tridimensionnelles de ces candidats, puis on les reprojette sur l'image de centrage. On calcule à nouveau la similarité entre ces points reprojétés et la microcalcification initialement choisie. En effet, si le candidat correspond effectivement à la microcalcification de départ, alors sa projection calculée correspondra effectivement à l'image de cette microcalcification sur l'image de centrage.

25 Enfin, à l'aide de ces deux valeurs de similarité calculées pour chaque candidat, on propose le meilleur candidat.

30 En théorie, on pourrait s'abstenir de l'étape de reprojexion utilisant l'image de centrage et se contenter de l'appariement tel qu'il vient d'être exposé pour sélectionner la région d'intérêt homologue de celle sélectionnée sur l'image cible. Cependant, il est nettement préférable d'utiliser la reprojexion des candidats sur l'image de centrage pour vérifier la première sélection effectuée, notamment dans le domaine de la mammographie où les microcalcifications peuvent
35 changer de forme et de contraste d'une image à l'autre.

En d'autres termes, l'invention propose tout d'abord un procédé de localisation d'un élément d'intérêt contenu dans un objet tridimensionnel à partir des positions de régions d'intérêts homologues correspondant audit élément d'intérêt et apparaissant dans un ensemble d'images stéréotaxiques dudit objet. Ce procédé comporte une étape de sélection dans une première image stéréotaxique, ou image cible, d'une première région d'intérêt, en particulier une microcalcification, dite région d'intérêt cible. Le procédé comporte également un appariement de ladite première région avec une deuxième région d'intérêt homologue de la première et apparaissant dans une deuxième image stéréotaxique.

Selon une caractéristique générale de l'invention, les images stéréotaxiques étant numérisées, on sélectionne dans l'étape de sélection un pixel cible dans ladite région d'intérêt cible. Dans l'étape d'appariement, on génère autour du pixel cible sélectionné, une fenêtre cible de caractéristiques dimensionnelles choisies et contenant ladite région d'intérêt cible. On détermine alors dans la deuxième image, selon un critère de sélection prédéterminé, un ensemble de pixels et on génère autour de chaque pixel sélectionné une deuxième fenêtre de mêmes caractéristiques dimensionnelles que ladite fenêtre cible. On effectue un traitement de corrélation entre les niveaux de gris des pixels de chaque deuxième fenêtre et les niveaux de gris des pixels de la fenêtre cible de façon à obtenir une valeur de corrélation pour chaque deuxième fenêtre. On identifie alors la région d'intérêt homologue de la région d'intérêt cible à partir de l'analyse de l'ensemble des valeurs de corrélation ainsi obtenues. On minimise ainsi les risques d'erreur d'appariement entre des régions d'intérêt homologues.

Selon un mode de mise en oeuvre, l'analyse des valeurs de corrélation obtenues comporte la sélection d'un nombre choisi de maxima ou de minima de corrélation, la sélection de la région homologue s'effectuant parmi celles dont la valeur de corrélation associée est l'un de ces maxima ou minima de corrélation.

En fait suivant que l'image est "normale" ou inversée (une image "normale" étant définie comme présentant des niveaux de gris et des

contrastes qui sont semblables à ceux habituellement visibles sur des clichés de film) on utilisera respectivement les maxima ou les minima.

On peut également prévoir une détermination de la dynamique des maxima ou minima sélectionnés, et la comparaison des valeurs de dynamique obtenues à un seuil.

Le traitement de corrélation utilisé peut comporter un traitement de corrélation normée, centrée ou non, ou bien un traitement de différence normée.

En variante à l'appariement évoqué ci-dessus, l'invention propose également un appariement basé sur l'élaboration de caractéristiques prédéterminées de toute région d'intérêt, en particulier des caractéristiques physiques comme l'élongation, le contraste, le gradient, puis une comparaison entre ces listes de caractéristiques associées à différentes régions d'intérêts.

Plus précisément, selon une caractéristique générale de l'invention, on sélectionne dans l'étape de sélection, un pixel cible dans ladite région d'intérêt cible et, dans l'étape d'appariement, on génère, autour du pixel cible sélectionné, une fenêtre cible de caractéristiques dimensionnelles choisies et contenant ladite région d'intérêt cible. On détermine pour ladite région d'intérêt cible, à partir des valeurs de niveau de gris des pixels de ladite fenêtre cible, un premier ensemble de valeurs numériques respectivement représentatives de caractéristiques prédéterminées caractérisant toute région d'intérêt (par exemple des caractéristiques de forme de contraste, de gradient ...) et on stocke ce premier ensemble de valeurs numériques. On détermine dans la deuxième image, selon un critère de sélection prédéterminé, un ensemble de pixels appartenant respectivement à des régions d'intérêts dites candidates apparaissant dans la deuxième image et on génère autour de chacun de ces pixels sélectionnés une deuxième fenêtre contenant ladite région d'intérêt candidate correspondante. On détermine, pour chaque région d'intérêt candidate à partir des valeurs de niveau de gris des pixels de la deuxième fenêtre associée, un deuxième ensemble de valeurs numériques respectivement représentatives desdites caractéristiques prédéterminées et on stocke ce deuxième ensemble de valeurs

numériques. On identifie alors la région d'intérêt homologue de la région d'intérêt cible à partir d'un traitement de comparaison entre le premier ensemble de valeurs numériques et chaque deuxième ensemble de valeurs numériques. On minimise également ainsi les risques d'erreur d'appariement entre des régions homologues.

Le traitement de comparaison peut comporter un traitement de minimisation de distance entre les deux ensembles de valeurs numériques.

Dans les deux variantes d'appariement qui viennent d'être évoquées, et afin de minimiser encore le temps de calcul, on détermine dans la deuxième image stéréotaxique, une zone épipolaire contenant au moins le segment épipolaire relatif au pixel cible. Les pixels de la zone épipolaire contiennent alors les pixels sélectionnés. Pour réduire encore le temps de calcul, au lieu d'effectuer l'appariement sur tous les pixels de la zone épipolaire déterminée, on sélectionne avantageusement les pixels de la deuxième image parmi ceux présentant des maxima ou des minima de niveau de gris dont la dynamique est supérieure à un seuil prédéterminé.

En outre, pour s'affranchir des problèmes de fond d'image, et pour minimiser encore les risques d'erreurs d'appariement entre deux régions d'intérêts homologues, il est particulièrement avantageux que l'appariement selon l'invention comporte préalablement un filtrage des images stéréotaxiques, par exemple du type dit "chapeau haut de forme".

L'utilisation de l'étape de reprojection des éléments d'intérêts candidats dans l'image de centrage est indépendante du type d'appariement utilisé préalablement.

Ainsi, selon une caractéristique générale de l'invention, le procédé de localisation du type de celui évoqué ci-avant comprend une sélection dans une première image stéréotaxique numérisée d'une première région d'intérêt dite cible, une sélection, dans une deuxième image stéréotaxique numérisée, à partir d'un premier appariement automatique, d'au moins une deuxième région d'intérêt susceptible d'être homologue de la région cible, la détermination de la position spatiale d'un pixel candidat d'un élément d'intérêt candidat

correspondant à ces deux régions d'intérêts, la détermination de la position dans une troisième image stéréotaxique, d'un pixel projeté correspondant à la projection dans cette troisième image stéréotaxique du pixel candidat, et un deuxième appariement automatique entre la
 5 région intérêt cible et un voisinage du pixel projeté définissant une région d'intérêt projeté.

En pratique, on sélectionne avantageusement dans la deuxième image stéréotaxique, à partir dudit premier appariement automatique, un ensemble de deuxièmes régions susceptibles d'être homologues de
 10 la région cible et on détermine la position spatiale de chaque pixel candidat correspondant à chaque paire de régions d'intérêts formée par la région cible et l'une des deuxièmes régions. On détermine également la position dans la troisième image de chaque pixel projeté correspondant et on effectue le deuxième appariement automatique
 15 entre la région cible et un voisinage de chaque pixel projeté.

On peut ordonner l'ensemble des deuxièmes régions obtenues dans l'ordre décroissant de leur probabilité à être la région homologue de la région cible. On peut également ordonner l'ensemble des régions projetées obtenues dans l'ordre décroissant de leur probabilité à être la
 20 région homologue de la région cible. On sélectionne alors avantageusement la région homologue de la région cible comme étant celle dont le produit des rangs respectifs dans les deux ordonnancements est minimum.

Le premier appariement automatique peut être l'un des deux
 25 appariements qui ont été évoqués ci-avant, c'est-à-dire à base d'un traitement de corrélation ou d'un traitement de comparaison.

De même, le deuxième appariement automatique peut comporter un traitement de corrélation tel que défini ci-avant, entre le voisinage de chaque pixel projeté et une fenêtre cible contenant la région
 30 d'intérêt cible. Ce deuxième appariement automatique peut être également un traitement de comparaison tel que défini ci-avant, entre la région d'intérêt cible et chaque région d'intérêt projetée.

D'un point de vue matériel, l'invention s'analyse comme un dispositif de localisation d'un élément d'intérêt contenu dans un objet
 35 tridimensionnel à partir des positions de régions d'intérêts homologues

correspondant audit élément d'intérêt et apparaissant dans un ensemble d'images stéréotaxiques dudit objet. Ce dispositif comporte un appareillage de prises de vues stéréotaxiques équipé d'un support pour ledit objet et d'un récepteur d'image tel qu'une caméra CCD capable de
 5 fournir des images stéréotaxiques numérisées. Il est également prévu des moyens de visualisation de ces images, par exemple un écran vidéo, tel que celui d'un microordinateur. Des moyens de sélection, par exemple une "souris" d'un microordinateur permettant de déplacer un marqueur sur l'écran et de "cliquer" ce marqueur sur un pixel cible
 10 d'une région d'intérêt, permettent la sélection du pixel cible. Il est enfin prévu un microprocesseur et des mémoires associées pour incorporer sous forme logicielle des moyens permettant de réaliser fonctionnellement toutes les étapes des procédés qui ont été décrites ci-avant.

15 D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de modes de mise en oeuvre nullement limitatifs, et des dessins annexés, sur lesquels :

la figure 1 est une vue schématique de trois images stéréotaxiques d'un objet tridimensionnel à partir d'un dispositif de prises de vues
 20 stéréotaxiques;

la figure 2 illustre très schématiquement la notion de segment épipolaire;

la figure 3 illustre une zone épipolaire choisie conformément à l'invention pour effectuer un appariement;

25 la figure 4 est un organigramme général d'un procédé selon l'invention;

la figure 5 illustre plus particulièrement une étape d'une variante du procédé utilisant un traitement de corrélation; et

la figure 6 illustre schématiquement plus particulièrement un
 30 procédé selon l'invention utilisant une reprojection sur l'image de centrage.

Un examen stéréotaxique, en particulier en mammographie, se compose d'une série de trois expositions d'un objet tridimensionnel 1 (figure 1), par exemple un sein, reposant sur un support 3 et comprimé
 35 par un plateau de compression 2, à l'aide d'un tube à rayons X

occupant respectivement trois positions différentes 6, 7 et 8. En pratique, on procède à une exposition selon un angle de 0° et à deux expositions angulées selon deux angles opposés égaux, en pratique $\pm 15^\circ$.

5 Un récepteur CCD 4 permet d'obtenir ainsi trois images stéréotaxiques numérisées 10, 11 et 12. Selon une convention habituellement utilisée, l'image 10 est l'image de droite, tandis que l'image 12 est l'image de gauche et que l'image 11 est l'image de centrage.

10 Un élément d'intérêt 5, par exemple une microcalcification, contenu dans l'objet tridimensionnel 1, fournit sur chacune des images 10, 11 et 12 des régions d'intérêts respectivement référencées 5d, 5c et 5g. L'image de centrage sert en particulier à vérifier que la microcalcification sera accessible durant l'acte médical éventuel
15 ultérieur.

Les coordonnées tridimensionnelles de la microcalcification 5 peuvent être obtenues, de façon classique et bien connue de l'homme du métier, par un calcul simple de trigonométrie à partir de la connaissance des coordonnées bidimensionnelles des deux projections
20 5d et 5g, par exemple. Ces coordonnées sont exprimées par rapport à une origine matérialisée par le centre d'une croix 9 gravée sur le plateau supportant le sein. Et on repère sur chaque image le centre de cette croix de référence pour initialiser géométriquement le système.

L'homme du métier sait que, par définition, le segment épipolaire
25 50 (figure 2) d'un point 5d d'une image 9 d'angulation θ_1 , sur une image 12 d'angulation θ_2 , correspond à l'ensemble des points de la seconde image 12 pouvant avoir le point 5d comme antécédent. Autrement dit, c'est la projection conique par la source d'angulation θ_2 , du segment de droite 52 joignant ledit point à la source
30 d'angulation θ_1 .

Dans le cas où les images stéréotaxiques ont été obtenues avec des angulations telles que les positions du tube à rayons X se situent dans un plan parallèle aux lignes des images, ce segment épipolaire 50 est un segment de droite qui se trouve être parallèle aux lignes de l'image.
35 Cependant, si l'on n'a pas la connaissance de l'épaisseur de l'objet

tridimensionnel, on ne peut pas déterminer la position des extrémités de ce segment épipolaire. Ce segment épipolaire devient alors une droite épipolaire qui, dans la géométrie d'acquisition particulière évoquée ici, se situe sur la même ligne d'image 12 que le point d'intérêt 5d sur l'image 9.

En outre, lorsqu'on utilise un détecteur qui présente des distorsions géométriques, la droite épipolaire se transforme en une courbe épipolaire 53 (figure 3). On peut déterminer les coordonnées de l'ensemble des points de la courbe épipolaire sur l'image 12 par une calibration géométrique de la caméra CCD. Il serait alors possible de n'effectuer l'appariement selon l'invention que sur l'ensemble de ces points.

Cependant, si pour des raisons de précision de la calibration géométrique, on ne peut déterminer qu'approximativement les coordonnées des points de la courbe épipolaire, on choisira alors d'effectuer l'appariement selon l'invention sur un ruban épipolaire 51 qui encadre la courbe épipolaire. En pratique, on définira une zone épipolaire, ou zone de recherche, délimitée par deux lignes parallèles passant respectivement par deux points augmentés de part et d'autre du point le plus haut et le plus bas de l'épipolaire 53 d'une marge prédéterminée. Généralement, on opte pour une marge de 3 à 5 pixels.

On va maintenant décrire plus en détail, en se référant plus particulièrement aux figures 4 et 5, deux types d'appariement selon l'invention.

La première étape consiste en la sélection (étape 400) d'un pixel cible 60d au sein d'une région d'intérêt cible 5d présente par exemple dans l'image de droite 10, dite image cible. En pratique, cette sélection peut s'effectuer manuellement en cliquant un point de la région d'intérêt de l'image concernée apparaissant sur un écran d'un microordinateur. Ceci étant, on peut prévoir également un procédé de sélection automatique de pixel. Ce pixel 60d peut être centré ou non dans la région cible.

On génère ensuite (étape 401) une fenêtre cible 61d contenant ladite région d'intérêt cible. Cette fenêtre cible peut être générée automatiquement après avoir appliqué sur le pixel cible 60d un moyen

logiciel classique de croissance de région. En variante, on peut également prévoir, selon le domaine d'application de l'invention, de choisir des fenêtres de taille prédéfinies. Dans tous les cas, on obtiendra généralement une fenêtre cible rectangulaire ou carrée dont les côtés présentent des dimensions de l'ordre d'une dizaine à quelques dizaines de pixels.

Les niveaux de gris de chacun des pixels de cette fenêtre cible sont ensuite stockés dans une mémoire associée à un microprocesseur qui incorpore de façon logicielle tous les moyens fonctionnels de mise en oeuvre du procédé décrit.

A partir de là, on va sélectionner dans une étape 402 un ensemble de pixels dans une deuxième image stéréotaxique, par exemple l'image de gauche. Cet ensemble de pixels sélectionnés va constituer une zone de recherche 51 à l'intérieur de laquelle on va sélectionner une ou plusieurs régions d'intérêts candidates susceptibles d'être homologues de la région d'intérêt cible.

Comme on l'a expliqué ci-avant et dans le but de réduire la durée d'appariement, cette zone de recherche 51 sera par exemple la zone épipolaire 51 définie ci-avant. Plus précisément, autour de chacun de ces pixels sélectionnés dans la zone de recherche, on génère (étape 403) une deuxième fenêtre 61g de même caractéristique dimensionnelle que la fenêtre cible. On stocke les niveaux de gris des pixels de chaque deuxième fenêtre et on procède (étape 404) à un traitement de corrélation entre les niveaux de gris des pixels de chaque deuxième fenêtre 61g et les niveaux de gris des pixels de la fenêtre cible 61d.

Le traitement de corrélation permet donc d'effectuer une mesure de similarité entre la fenêtre cible et chacune des deuxièmes fenêtres de la deuxième image de façon à obtenir une valeur de similarité (valeur de corrélation entre ces deux fenêtres).

C'est à partir de l'analyse de ces valeurs de corrélation que l'on va procéder à l'appariement de la région d'intérêt cible avec sa région d'intérêt homologue.

En ce qui concerne le traitement de corrélation (étape 404), on peut utiliser une corrélation normée. Plus précisément, chaque valeur

de corrélation d'une deuxième fenêtre sera alors donnée par la formule :

$$5 \quad \frac{\sum_{k=1}^N I(k) J(k)}{\sqrt{\sum I^2(k) \sum J^2(k)}} = \frac{\vec{I} \cdot \vec{J}}{\|\vec{I}\| \|\vec{J}\|}$$

10 où N est le nombre de pixels d'une fenêtre, k l'indice courant d'un pixel, I(k) le niveau de gris du pixel k de la fenêtre cible et J(k) le niveau de gris du pixel k de la deuxième fenêtre.

On peut également utiliser une différence normée permettant d'obtenir la valeur de corrélation par la formule :

$$15 \quad \|\vec{I} - \vec{J}\|^2$$

En théorie, la région d'intérêt homologue sera celle contenue dans la deuxième fenêtre qui présente la valeur de corrélation maximale. Ceci étant, en pratique, plusieurs maxima de corrélation peuvent être
20 trouvés avec une intensité élevée. On sélectionne alors (étape 405), parmi l'ensemble des valeurs de corrélation, un ensemble restreint de maxima de corrélation selon un critère prédéterminé comme l'intensité du maximum ou comme le nombre de maxima dans la liste des valeurs de corrélation rangées par ordre d'intensité décroissante.

25 On peut également utiliser comme critère supplémentaire de sélection une détermination de la dynamique des maxima sélectionnés et la comparaison des valeurs de dynamique obtenues à un seuil prédéterminé.

La détermination de la dynamique de maxima est parfaitement
30 connue de l'homme du métier. Cependant, celui-ci pourra éventuellement se reporter à la demande de brevet français n° 91 15308 pour plus de détails concernant une telle détermination de dynamique.

Il convient de noter ici que le procédé selon l'invention permet de
35 déterminer et d'afficher sur l'écran du microordinateur, par exemple

par un clignotement, la région d'intérêt considérée comme étant la région homologue de la région cible, et ce avec le minimum de risque d'erreur.

5 Ceci étant, en pratique, le procédé selon l'invention pourra sélectionner un nombre restreint de régions d'intérêts candidates susceptibles d'être homologues de la région cible. Le radiologue aura alors la possibilité de sélectionner manuellement celle qu'il considère comme étant effectivement la région homologue.

10 Ainsi qu'on l'a évoqué ci-avant, on peut utiliser dans le traitement d'appariement, un traitement de comparaison spécifique au lieu d'un traitement de corrélation.

15 Ainsi, comme illustré plus précisément sur la figure 4, on détermine (étape 409) pour la région cible contenue à l'intérieur de la fenêtre cible 61d, et à partir des niveaux de gris des pixels contenus dans cette fenêtre cible, une liste de caractéristiques permettant de caractériser en général une région d'intérêt. Ces caractéristiques peuvent comporter par exemple une valeur représentative de l'élongation de la région d'intérêt, une valeur représentative de sa largeur moyenne, une largeur représentative de son niveau de gris moyen, ou de son gradient moyen d'intensité.

20 On effectue la même opération (étape 410) pour les régions d'intérêts candidates contenues dans des deuxièmes fenêtres 61g définies à partir de pixels sélectionnés dans la zone de recherche. A cet égard, afin de limiter le temps de traitement, les pixels sélectionnés pour la détermination des deuxièmes fenêtres englobant les régions candidates, sont choisis parmi les pixels de la zone de recherche présentant des maxima de niveaux de gris dont la dynamique est supérieure à un seuil prédéterminé.

30 A partir de ces différentes listes de caractéristiques ainsi obtenues, on effectue un traitement de comparaison 411 entre la liste de caractéristiques affectées à la région cible et chacune des listes de caractéristiques affectées à chacune des régions candidates.

35 En pratique, bien qu'on puisse envisager un autre type de traitement de comparaison, on utilisera de préférence un traitement de comparaison prévoyant la minimisation d'une distance, par exemple la

distance eudidienne, entre la liste des caractéristiques de la région cible, considérée alors comme un vecteur, et une liste de caractéristiques d'une région candidate, considérée également comme un vecteur.

5 On pourrait également prévoir, à titre d'exemple, de déterminer la valeur moyenne des valeurs absolues des différences entre les valeurs homologues de deux listes de caractéristiques, et de rechercher celle des valeurs moyennes qui est la plus faible pour en déduire la région d'intérêt homologue.

10 La sélection de la région homologue prévue dans l'étape 405 s'obtient donc par cette variante en minimisant une distance entre des listes de caractéristiques plutôt qu'en maximisant une corrélation normée ou une différence normée.

L'invention prévoit encore certaines améliorations.

15 Ainsi, dans la variante de l'appariement prévoyant un traitement de corrélation, on peut limiter la zone de recherche aux pixels de la zone épipolaire présentant des maxima de niveaux de gris dont la dynamique est supérieure à un seuil prédéterminé.

20 En outre, il est préférable, notamment pour s'affranchir des problèmes de fond d'image, d'effectuer un filtrage préalable des images stéréotaxiques du type dit "chapeau haut de forme" (ou transformation top-hat en langue anglaise). Ce genre de filtrage est connu de l'homme du métier et celui-ci pourra se référer pour plus de détails à l'article de J. SERRA Image Analysis and Mathematical
25 Morphology, Vol. 2, Academic Press 1988.

Ce genre de filtrage permet d'extraire d'une image numérique les zones claires et étroites et permet de s'affranchir du fond.

30 Les étapes du procédé selon l'invention qui vont maintenant être décrites, et prévoyant notamment une reprojection sur l'image de centrage, s'apparentent ainsi notamment comme étant une vérification des résultats de l'appariement précédent entre l'image cible et la deuxième image, et permettent ainsi de minimiser encore les risques d'erreurs d'appariement.

35 Ceci étant, bien que la suite du procédé qui va maintenant être décrite en se référant plus particulièrement aux figures 4 et 6, prévoit

la possibilité d'utiliser des traitements de corrélation ou de comparaison du type de ceux qui viennent d'être décrits, ce procédé selon l'invention utilisant une reprojection sur l'image de centrage, est indépendant de l'appariement préalable utilisé entre l'image cible et la deuxième image.

On suppose maintenant (figure 6) que le procédé selon l'invention a permis de sélectionner sur l'image de gauche 12 deux régions d'intérêts candidates 5g et 20g susceptibles d'être la région homologue de la région cible 5d apparaissant sur l'image cible 10.

A partir du pixel cible de la région d'intérêt cible et du pixel candidat ayant donné lieu à la sélection de la région d'intérêt candidate 5g, on détermine (étape 406), par un calcul trigonométrique de stéréotaxie, et connaissant la géométrie du dispositif de stéréotaxie, les coordonnées tridimensionnelles du point correspondant de l'objet d'intérêt candidat correspondant à ces deux régions 5d et 5g. Puis, par un calcul trigonométrique de stéréotaxie inverse, on détermine les coordonnées dans l'image de centrage du pixel projeté correspondant à la projection du pixel de l'élément candidat dans cette image de centrage.

On remarque donc que, dans le cas présent, puisque la région candidate 5g est effectivement la région homologue de la région 5d, la position du pixel projeté dans l'image de centrage 11 correspond effectivement à une région d'intérêt projeté 5p qui est effectivement la projection dans cette image de centrage de l'élément d'intérêt 5.

Par contre, par ces mêmes calculs, la région d'intérêt candidate 20g va conduire à l'obtention d'une position projetée 20p dans l'image de centrage qui, dans le cas présent, ne se superposera à aucune région d'intérêt physiquement présente dans cette image de centrage.

Aussi, un traitement de corrélation entre la fenêtre cible contenant la région cible 5d et un voisinage du pixel projeté contenant la région d'intérêt projetée 5p va donner une valeur de corrélation supérieure à la valeur de corrélation obtenue entre la fenêtre cible 5d et un voisinage du pixel projeté 20p. Il en aurait été de même, même si le voisinage du point projeté 20p avait correspondu à une micro-calcification projetée autre que celle correspondant effectivement à la

microcalcification 5.

Ce procédé permet donc de sélectionner parmi les deux candidats 5g et 20g la région 5g qui est effectivement la région homologue de la région 5d.

5 Bien entendu, la conclusion aurait été la même en utilisant un traitement de comparaison 412 au lieu d'un traitement de corrélation 407.

10 L'utilisation d'un voisinage du pixel projeté, typiquement quelques pixels autour du point projeté, permet de prendre en compte les erreurs éventuelles dues à un bougé de l'objet entre l'exposition à 0° et les expositions à $\pm 15^\circ$.

15 D'une façon plus générale, on peut ordonner l'ensemble des régions candidates obtenues dans la deuxième image dans l'ordre décroissant de leur probabilité à être la région homologue de la région cible. Ainsi, la région ayant par exemple donné le maximum de corrélation avec la dynamique la plus forte sera affectée du rang 1 et ainsi de suite par ordre décroissant. On peut effectuer ce même ordonnancement pour l'ensemble des régions projetées obtenues sur l'image de centrage. On sélectionnera alors la région homologue de la
20 région cible comme étant celle dont le produit des rangs respectifs dans les deux ordonnancements est minimum.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de localisation d'un élément d'intérêt contenu dans un objet tridimensionnel à partir des positions de régions d'intérêts homologues correspondant audit élément d'intérêt et apparaissant dans un ensemble d'images stéréotaxiques dudit objet, comportant une
5 sélection dans une première image stéréotaxique (10) d'une première région d'intérêt (5d) dite "cible", ainsi qu'un appariement de ladite première région avec une deuxième région d'intérêt (5g) homologue de la première et apparaissant dans une deuxième image stéréotaxique (12), caractérisé par le fait que, les images stéréotaxiques étant
10 numérisées, on sélectionne (400) dans l'étape de sélection, un pixel cible (60d) dans ladite région d'intérêt cible (5d), et dans l'étape d'appariement, on génère (401), autour du pixel cible sélectionné, une fenêtre cible (61d) de caractéristiques dimensionnelles choisies et contenant ladite région d'intérêt cible, on détermine (402) dans la
15 deuxième image, selon un critère de sélection prédéterminé, un ensemble de pixels, on génère (403) autour de chaque pixel sélectionné une deuxième fenêtre de mêmes caractéristiques dimensionnelles que ladite fenêtre cible, on effectue un traitement de corrélation (404) entre les niveaux de gris des pixels de chaque
20 deuxième fenêtre et les niveaux de gris des pixels de la fenêtre cible, de façon à obtenir une valeur de corrélation pour chaque deuxième fenêtre, et on identifie la région d'intérêt homologue de la région d'intérêt cible à partir de l'analyse de l'ensemble des valeurs de corrélation ainsi obtenues, de façon à minimiser les risques d'erreur
25 d'appariement entre les régions d'intérêt homologues.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'analyse des valeurs de corrélation obtenues comporte la sélection d'un nombre choisi de maxima ou de minima de corrélation, la sélection de la région d'intérêt homologue s'effectuant parmi celles
30 dont la valeur de corrélation associée est l'un de ces maxima ou minima de corrélation.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé par le fait que l'analyse des valeurs de corrélation obtenues comporte en outre une détermination de la dynamique des maxima ou minima sélectionnés, et

la comparaison des valeurs de dynamique obtenues à un seuil.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que le traitement de corrélation comporte un traitement de corrélation normée.

5 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que le traitement de corrélation comporte un traitement de différence normée.

6. Procédé de localisation d'un élément d'intérêt contenu dans un objet tridimensionnel à partir des positions de régions d'intérêts homologues correspondant audit élément d'intérêt et apparaissant dans un ensemble d'images stéréotaxiques dudit objet, comportant une sélection dans une première image stéréotaxique (10) d'une première région d'intérêt (5d) dite "cible", ainsi qu'un appariement de ladite première région avec une deuxième région d'intérêt (5g) homologue de la première et apparaissant dans une deuxième image stéréotaxique (12), caractérisé par le fait que, les images stéréotaxiques étant numérisées, on sélectionne(400) dans l'étape de sélection, un pixel cible dans ladite région d'intérêt cible, et dans l'étape d'appariement, on génère (401), autour du pixel cible sélectionné, une fenêtre cible (61d) de caractéristiques dimensionnelles choisies et contenant ladite région d'intérêt cible, on détermine (409), pour ladite région d'intérêt cible, à partir des valeurs de niveaux de gris des pixels de ladite fenêtre cible, un premier ensemble de valeurs numériques respectivement représentatives de caractéristiques prédéterminées caractérisant toute région d'intérêt, et on stocke ce premier ensemble de valeurs numériques, on détermine (402) dans la deuxième image, selon un critère de sélection prédéterminé, un ensemble de pixels appartenant respectivement à des régions d'intérêt dites "candidates" apparaissant dans la deuxième image, et on génère (403) autour de chacun de ces pixels sélectionnés une deuxième fenêtre contenant ladite région d'intérêt candidate correspondante, on détermine (410), pour chaque région d'intérêt candidate, à partir des valeurs de niveaux de gris des pixels de la deuxième fenêtre associée, un deuxième ensemble de valeurs numériques respectivement représentatives desdites caractéristiques prédéterminées, on stocke ce deuxième

ensemble de valeurs numériques, et on identifie la région d'intérêt homologue de la région d'intérêt cible à partir d'un traitement de comparaison (411) entre ledit premier ensemble de valeurs numériques et chaque deuxième ensemble de valeurs numériques, de façon à minimiser les risques d'erreur d'appariement entre les régions d'intérêt homologues.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé par le fait que lesdites caractéristiques prédéterminées comprennent des caractéristiques de forme, de contraste, de gradient.

8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, caractérisé par le fait que le traitement de comparaison comporte un traitement de minimisation de distance entre les deux ensembles de valeurs numériques.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'on détermine dans la deuxième image stéréotaxique une zone épipolaire contenant au moins le segment épipolaire relatif au pixel cible, et par le fait que les pixels de la zone épipolaire contiennent les pixels sélectionnés.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que lesdits pixels sélectionnés sont choisis parmi les pixels de la deuxième image présentant des maxima ou minima de niveaux de gris dont la dynamique est supérieure à un seuil prédéterminé.

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que l'appariement comporte préalablement un filtrage des images stéréotaxiques, en particulier du type dit "chapeau haut de forme".

12. Procédé de localisation d'un élément d'intérêt contenu dans un objet tridimensionnel à partir des positions de régions d'intérêts homologues correspondant audit élément d'intérêt et apparaissant dans un ensemble d'images stéréotaxiques dudit objet, caractérisé par le fait que, les images stéréotaxiques étant numérisées, il comprend une sélection dans une première image stéréotaxique (10) d'une première région d'intérêt (5d) dite "cible", une sélection (405), dans une deuxième image stéréotaxique (12), à partir d'un premier appariement

automatique, d'au moins une deuxième région d'intérêt (5g) susceptible d'être homologue de la région cible, la détermination de la position spatiale d'un pixel candidat d'un élément d'intérêt candidat correspondant à ces deux régions d'intérêt, la détermination (406) de la position dans une troisième image stéréotaxique, d'un pixel projeté correspondant à la projection dans cette troisième image stéréotaxique du pixel candidat, et un deuxième appariement automatique entre la région d'intérêt cible et un voisinage du pixel projeté définissant une région d'intérêt projetée, de façon à minimiser les risques d'erreur d'appariement entre les régions d'intérêt homologues.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé par le fait qu'on sélectionne dans la deuxième image stéréotaxique, à partir dudit premier appariement automatique, un ensemble de deuxièmes régions susceptibles d'être homologues de la région cible, on détermine la position spatiale de chaque pixel candidat correspondant à chaque paire de régions d'intérêt formée par la région cible et l'une des deuxièmes régions, ainsi que la position dans la troisième image de chaque pixel projeté correspondant, et on effectue le deuxième appariement automatique entre la région cible et un voisinage de chaque pixel projeté.

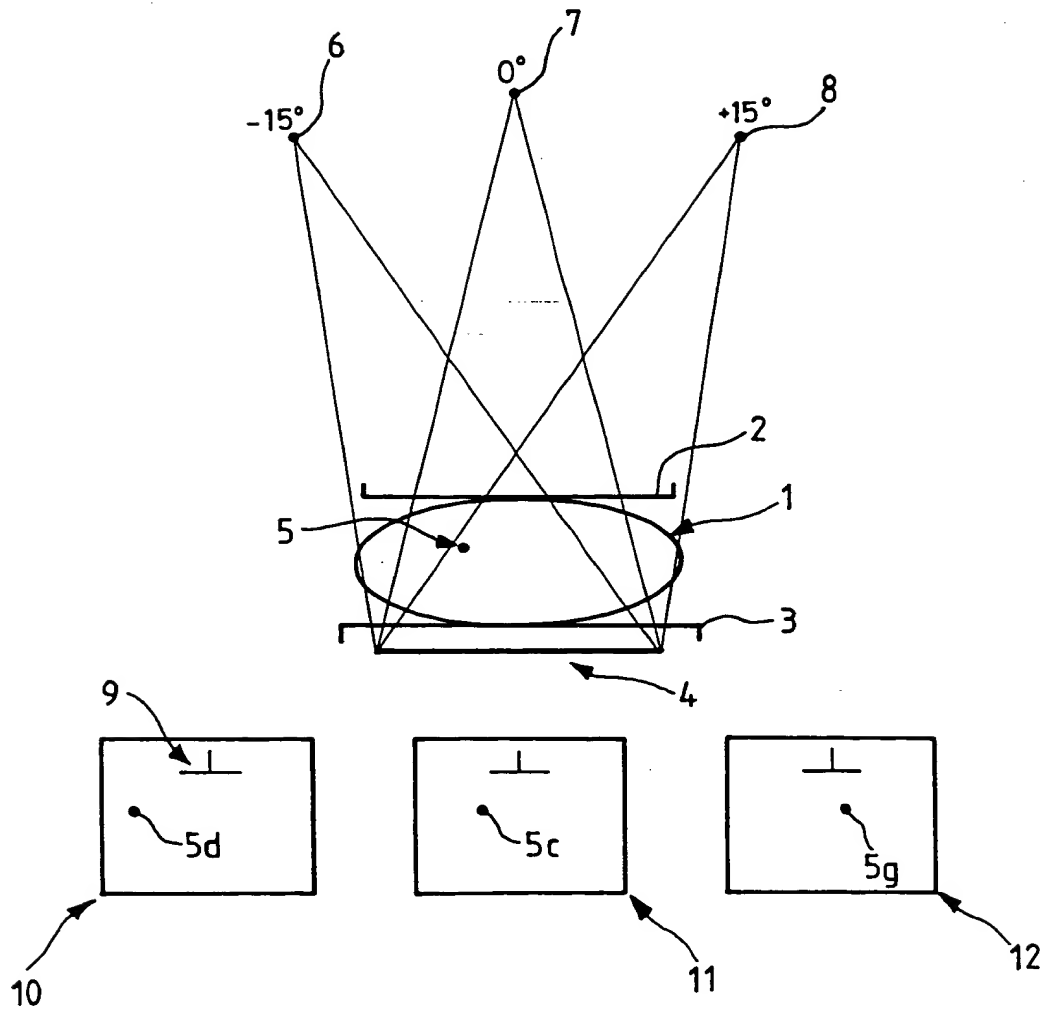
14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé par le fait qu'on ordonne l'ensemble des deuxièmes régions obtenues dans l'ordre décroissant de leur probabilité à être la région homologue de la région cible, on ordonne l'ensemble des régions projetées obtenues dans l'ordre décroissant de leur probabilité à être la région homologue de la région cible, et on sélectionne la région homologue de la région cible comme étant celle dont le produit des rangs respectifs dans les deux ordonnancements est minimum.

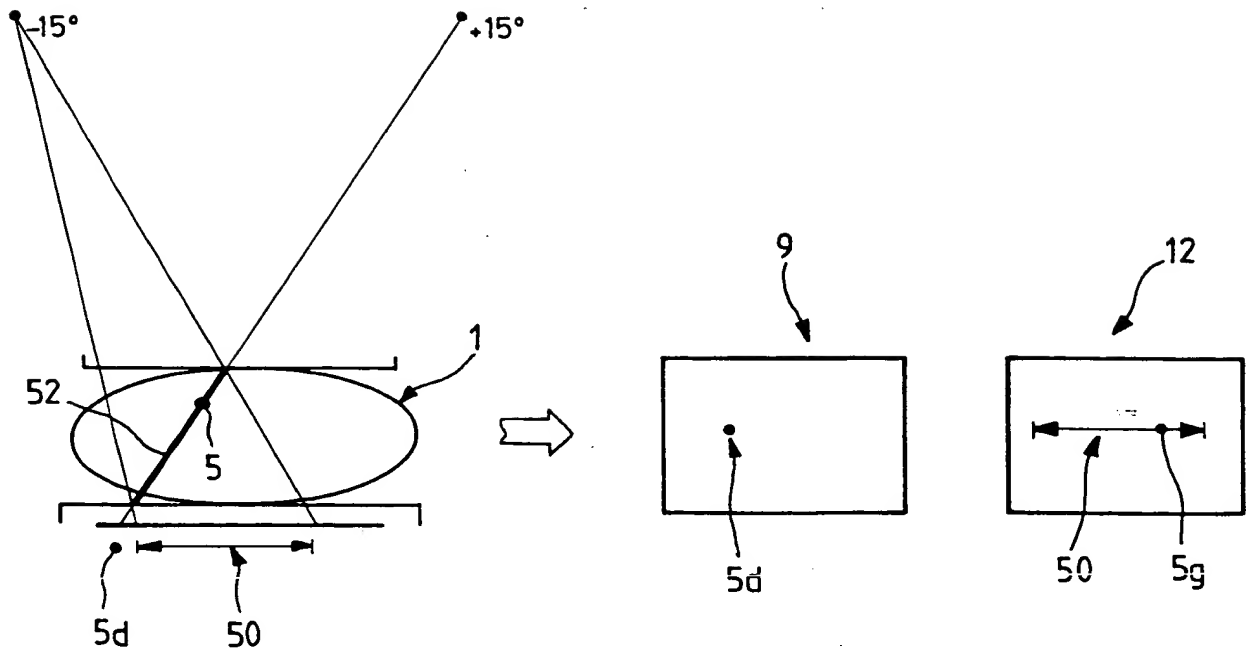
15. Procédé selon l'une des revendications 12 à 14, caractérisé par le fait que le premier appariement automatique est un appariement tel que défini dans l'une des revendications 1 à 11.

16. Procédé selon l'une des revendications 12 à 15, caractérisé par le fait que le deuxième appariement automatique comporte un traitement de corrélation tel que défini dans l'une des revendications 1 à 5, entre le voisinage de chaque pixel projeté et une fenêtre cible

contenant la région d'intérêt cible, ou un traitement de comparaison, tel que défini dans l'une des revendications 6 à 11 entre la région d'intérêt cible et chaque région d'intérêt projetée.

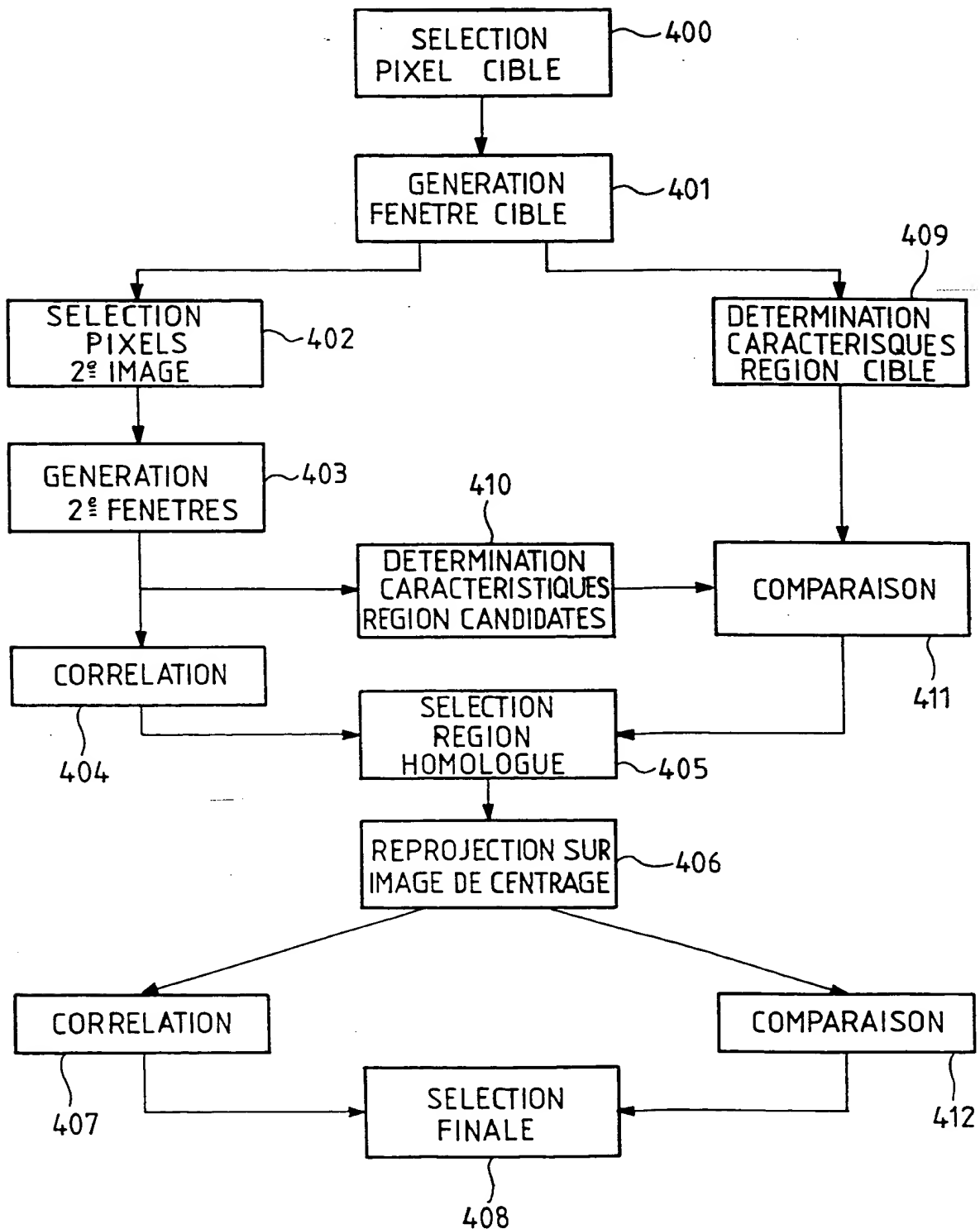
FIG_1



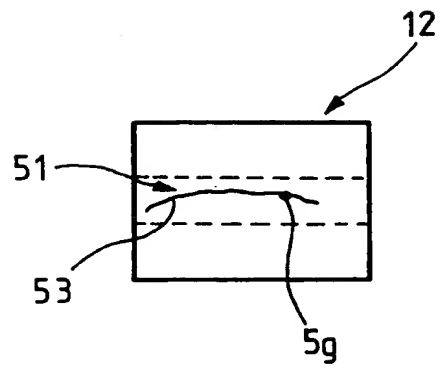
FIG_2

3/5

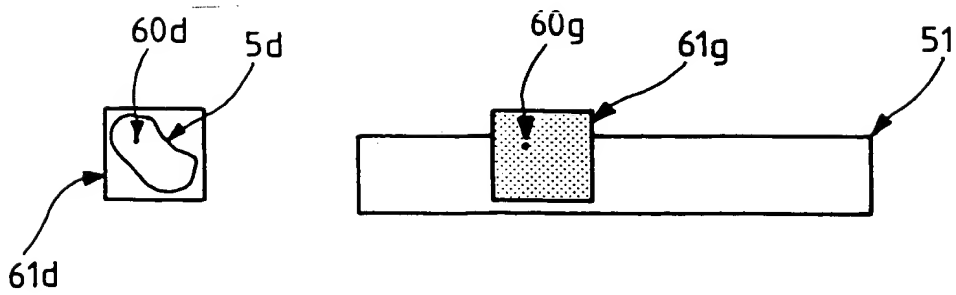
FIG_4



FIG_3



FIG_5



FIG_6

